

LA RELACIÓN “GENOTIPO-FENOTIPO”
Y SU POSIBLE EXTRAPOLACIÓN AL
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO
Y LA CULTURA HUMANA

EUGENIO ANDRADE

INTRODUCCIÓN

La biología contemporánea carece de una teoría de los fenotipos. Conrad Waddington señaló la insuficiencia de la teoría de la información y de la genética para explicarlos, puesto que el fenotipo es ante todo un fenómeno epigenético (Waddington, 1976). Esta carencia obedece a que las propuestas conjuntas del darwinismo y la genética se elaboraron dentro del marco de la perspectiva mecanicista; en consecuencia, los enfoques centrados en la biología del desarrollo fueron relegados a un segundo plano.

La teoría de los tipos se consideró como una herencia del platonismo en cuanto consideraba las variaciones de los organismos como manifestaciones de un mismo arquetipo o plan fundamental. Con el auge del darwinismo las similitudes entre los organismos se explicaron por el hecho de compartir un ancestro común, o como producto de una relación de parentesco filogenético. En palabras de Darwin: “en mi teoría, la unidad de tipo está explicada por la unidad de descendencia” (Darwin, 1859). Igualmente, la biología del desarrollo a partir de la formulación de la ley biogenética de Haeckel quedó supeditada al evolucionismo, dado que la relación entre filogenia y ontogenia se explicó en términos de una relación de “causa-efecto” dependiente del fenómeno de la herencia y la adaptación.

El matrimonio entre el darwinismo y la genética se hizo posible a partir de la distinción entre genotipo y fenotipo. Distinción que se sigue como

consecuencia del planteamiento de Weissman sobre la continuidad de la línea germinal. La línea germinal, al determinar la sucesión y continuidad genealógica, permitía descartar el papel evolutivo que pudieran jugar las células somáticas, es decir, aquellas que configuran el fenotipo. Como resultado, se generaron escuelas centradas exclusivamente en la visión genética y poblacional que desalentaron las investigaciones centradas en la búsqueda de una teoría sobre los fenotipos.

Las definiciones de fenotipo se refieren al reconocimiento del conjunto de una serie de características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento dependientes del genotipo; no podía ser de otra manera puesto que el concepto busca establecer la distinción, e investigar la relación, entre la constitución genética y la apariencia externa de los caracteres. El concepto de organismo como una totalidad estructural y funcionalmente organizada hacia la consecución de sus propios fines y que ejerce un papel activo en la definición de una serie de interacciones ecológicas va cediendo paso al de fenotipo, determinado genéticamente. Su papel evolutivo se resume en afirmar que la selección natural actúa sobre los fenotipos de modo que las diferencias fenotípicas se consideran como adaptativas. En este sentido, los fenotipos serían importantes únicamente por ser los portadores de los genes ¹. Detrás de la inseparabilidad entre los conceptos genotipo y fenotipo subyace un fenómeno característico de la vida que tiene que ver con la mutua dependencia entre la apariencia externa del organismo y su codificación genética, entre lo que es modificable por acción del medio y lo que se transmite por herencia a la siguiente generación.

La relación genotipo-fenotipo plantea una serie de preguntas no respondidas por la genética de poblaciones y el darwinismo. Para la discusión subsiguiente propondré el concepto según el cual la relación genotipo-fenotipo expresa la dualidad analógico-digital, propia de la codificación biológica, tal como fue concebida por Hoffmeyer y Emmeche (Hoffmeyer, J. *et al.*, 1991). Intentaré examinar la aplicabilidad de este concepto en los siguientes niveles de organización: a) molecular, b) orgánico, y c) social y/o cultural.

LA RELACIÓN GENOTIPO-FENOTIPO A NIVEL MOLECULAR

Bajo el influjo de la visión determinista, fundamentada en el dogma central de la biología molecular, el cuerpo teórico de la biología quedó privado de una teoría sobre los fenotipos diferente a la de su absoluta determinación genética.

Los temas relacionados con la estructura, forma y función de las proteínas corresponden al fenotipo molecular, además, se considera que el nivel propio de la organización fenotípica emerge como resultado de

las interacciones proteicas. La actividad funcional que cumplen las proteínas depende de los reconocimientos específicos que efectúan y de las afinidades responsables de actividades catalíticas que aceleran la transformación permanente de la energía. Andrade (1999) ha señalado que esta actividad es equiparable a una información del tipo de reconocimiento directo de patrones por similaridad y complementariedad de regiones locales donde las formas moleculares convergen. Estos reconocimientos directos de patrones equivalen a la información analógica. Este fenómeno se convierte en un argumento a favor de la prevalencia de la información analógica (fenotipo) sobre la digital (genotipo), puesto que el ajuste recíproco entre formas locales es la causa de las interacciones no aleatorias entre las moléculas (Andrade, 2000a).

La comunidad científica, seducida por la pretendida magia de la doble hélice y por la promesa determinista subyacente a ella, no incluyó una posible instancia de codificación analógica. Las instancias de codificación digital están dadas por el DNA, pero su funcionamiento depende de las instancias celulares que actúan como información analógica, en otras palabras, de los procesos catalíticos de autorganización. El papel prioritario de los reconocimientos enzimáticos dentro de los procesos de codificación fue inicialmente esbozado por Monod cuando se refería a las enzimas como demonios de Maxwell². Hoy en día, el papel que desempeñan las enzimas ha sido reinterpretado por Pattee (1993) y Matsuno (1995) como el que da lugar a verdaderos agentes de medición o demonios de Maxwell, responsables de los procesos de codificación de la información registrada en el DNA (Andrade, 1999, 2000a). Estas funciones pertenecen al dominio fenotípico donde se definen las interacciones y los modos de organización que de ellas resultan.

En el mismo sentido, Kauffman propone en su discusión sobre el origen de la vida la posibilidad de una vida primitiva y precelular sin genoma, esencialmente fenotípica, mostrando que la estabilidad y autorganización que puede desplegar una red autocatalítica no requiere como tal de una instancia de codificación genética (Kauffman, 1993). En el mismo sentido se puede afirmar que la información metabólica es anterior a la genética (Wächterhäuser, 1990). Una vez que las redes catalíticas autorganizantes se configuran y estabilizan, ocurre una selección a favor de la eficiencia en la reproducción de algunos componentes, la cual se ve favorecida cuando la codificación entra en juego. En ambos casos, el fenotipo es anterior al genotipo. En los sistemas de virus RNA y ribozímicos estudiados por Eigen muestran que en una misma molécula de RNA pueden darse tanto los registros digitalizados de información como la actividad enzimática y catalítica; sin embargo, este fenómeno no impide demarcar una distinción entre estas dos instancias. A medida que los sistemas se hacen más complejos aparece una especialización de funciones que pro-

fundiza la distinción entre la codificación de la información en el DNA y el desempeño de la actividad enzimática por parte de las proteínas. Con excepción de las etapas precelulares, la vida celular requiere de ambas instancias genotípica y fenotípica. El flujo de información en la dirección especificada por el dogma central, del DNA a las proteínas y nunca en forma reversa, separa la instancia de codificación genética de la de interacción fenotípica, a la vez que preserva a la primera de posibles alteraciones suscitadas por la segunda. En otras palabras, desde el momento en que durante la evolución prebiótica emergió la síntesis proteica y se dio la asignación del código genético, la demarcación entre las dos instancias de codificación comenzó a profundizarse.

Las interacciones específicas que surgen a partir de las dinámicas catalíticas constituyen la base de la organización fenotípica y explica por qué Eldredge coloca a los fenotipos dentro de las jerarquías interaccionales o de tipo ecológico (Eldredge, 1985). Los fenotipos tendrían “vida propia” y autonomía al ser los responsables del establecimiento de interacciones y transacciones energéticas, mientras que el DNA por sí mismo no logra replicarse. De ahí se desprende que deban necesariamente estar asociados.

Por otra parte, Andrade ha mostrado que si nos restringimos exclusivamente al nivel molecular, vemos que la relación entre genotipo (información digitalizada) y fenotipo (información analógica) no se puede representar por medio de una relación biyectiva donde se da una correspondencia uno a uno, sino como una relación que presenta simultáneamente las características de ser: a) degenerada y b) hologramática. (Andrade, 2000a,b). a) Degenerada, en el sentido de que a una misma forma molecular (fenotipo) corresponde un gran espectro de secuencias lineales en el DNA (genotipo) cada una de las cuales constituye una variante neutra. b) Hologramática, en el sentido de que a partir de una secuencia cualquiera en el DNA se pueden explorar mutantes que difieran en un número pequeño de pasos mutacionales de la secuencia original, encontrándose que estas variantes van rápidamente llenando todo el espacio de las formas posibles. Es decir, existen múltiples caminos diferentes que convergen hacia los mismo fenotipos o formas moleculares.

Una vez más queda manifiesta la prevalencia de lo analógico sobre lo digital, cuando estamos preocupados por comprender la funcionalidad y capacidad de interactuar. Sin embargo, la instancia fenotípica no garantiza la memoria ni la continuidad de un proceso evolutivo. Los fenotipos, al estar expuestos directamente a la interacción con el medio circundante, son muy sensibles a estas condiciones y eventualmente están sometidos a condiciones adversas que afectan su estabilidad.

En otras palabras, la dualidad codal permite guardar el registro de la estructura sin que éste se afecte por influencias directas del medio. Con la aparición de la codificación digital hizo entrada la memoria evolutiva, y se hizo posible que los primeros organismos pudieran replicar los mensajes seleccionados previamente por su funcionalidad, en vez de tener que volverlos a producir por un proceso de autorganización. La codificación genética permite almacenar la experiencia pasada y de este modo hace que los seres vivos estén determinados por su propia historia evolutiva; asimismo, permite introducir variantes mutacionales en el texto del DNA que se convierten en fuente de innovación evolutiva.

LA RELACIÓN GENOTIPO-FENOTIPO A NIVEL ORGANÍSMICO

A nivel de los organismos, se constata la prelación que se le ha dado a los estudios filogenéticos en detrimento de las investigaciones sobre la morfogénesis y el desarrollo. La barrera de Weissman o la línea de demarcación entre genotipo y fenotipo no es una condición universal de todos los organismos, tratándose de una característica que ha aparecido independientemente en los linajes de los insectos y vertebrados, en los que se da una determinación temprana de la línea germinal (Buss, 1987). No obstante, debieron existir condiciones que favorecieron el establecimiento de esta barrera, una de las cuales es proteger a los organismos contra la herencia de características adquiridas manteniendo la flexibilidad evolutiva. La herencia de características adquiridas puede constituirse en una ventaja para los llamados organismos inferiores (bacterias, protozoarios unicelulares, asociaciones multicelulares, colonias, invertebrados marinos, hongos, plantas, etcétera) mientras que, por el contrario, en los que hay una alta especialización somática dada por un proceso de ontogénesis complejo, las modificaciones transitorias adquiridas por la interacción con el entorno podrían desestabilizar las estructuras en caso de heredarse (Andrade, 2000b).

Para los organismos en que existe esta barrera, el fenotipo no es sino el organismo en desarrollo desde las primeras divisiones del huevo hasta la senescencia, pasando por los estados juveniles y la madurez. Por tanto, se trata de un concepto que se refiere a un proceso de cambio irreversible que define a los organismos vivos, no tanto como entidades abstractas, sino como sistemas dinámicos, o trayectorias que describen un ciclo de vida. La transición de la forma analógica (fenotipo) a la digital (genotipo) es un proceso que tiene lugar a nivel poblacional por medio de la reproducción sexual donde se generan nuevas combinaciones genéticas características de los nuevos organismos; mientras que el paso de la forma digital (genotipo) a la analógica (fenotipo) está representado por el

proceso de ontogénesis o desarrollo que permite la individuación o realización espacio-temporal de los individuos.

El huevo fertilizado aprende a autoconstruirse por medio de la lectura del texto en el DNA y de este modo contribuye a la supervivencia de su especie (Hoffmeyer *et al.* 1991); la estructura celular participa activamente en su propio desarrollo (Løvtrup 1974, 1987; Ho and Saunders 1979). No obstante, la información análoga contenida en la estructura celular no forma parte de la descripción digitalizada en el DNA. En otras palabras, la información en el DNA no hace nada por sí misma, a menos que un operario activo la lea y la interprete; los registros en forma digital no intervienen directamente en las transacciones energéticas propias de las interacciones biológicas. Por ejemplo, Goodwin criticó la interpretación del DNA como un programa de computación que dirige la ontogenia, puesto que el huevo debe entenderse como un participante activo y autónomo en el establecimiento de los campos morfogenéticos (Goodwin 1983, 1984).

El programa de la biología del desarrollo se resume en la búsqueda de leyes que permitan entender la construcción de fenotipos. Se ha querido ver la existencia de una correspondencia biunívoca entre genotipo y fenotipo donde cada gen sería el responsable de un rasgo fenotípico, y por tanto el fenotipo correspondería a la suma de las características expresadas por el conjunto de genes. Este planteamiento deja de considerar las posibles interacciones entre el entorno y el organismo a lo largo del proceso epigenético o de desarrollo, a la vez que no explica la emergencia de propiedades o funciones que surgen a consecuencia de la interacción entre complejos proteicos.

Por otra parte, los fenotipos no pueden descomponerse en una contribución separada del genotipo y del medio. Lo que un organismo es en un momento particular depende tanto de su constitución genética como del medio ambiente en que tiene lugar el desarrollo. Los mismos genotipos en entornos diferentes tendrán historias diferentes, así como diferentes genotipos en un mismo ambiente se desarrollarán de modo diferente. Lewontin (1984) ha sugerido el concepto de "norma de reacción" para entender la relación entre gen, medio ambiente y organismo³.

Las perspectivas centradas excesivamente en lo genético (DNA y filogenias) encuentran su fundamento en la visión mecanicista y determinista de la ciencia clásica, en la cual un observador externo registra los fenómenos sin hablar del proceso que dio lugar a los fenómenos registrados. Se toma el DNA como el registro dado que contiene el programa al que obedecen los organismos. Esta perspectiva ha permitido una gran acumulación de información, sin embargo, debemos ser conscientes de sus limitaciones, las cuales se expresan cuando constatamos las dificultades que existen para definir la relación genotipo-fenotipo. Una teoría de

los fenotipos permitiría ver a los organismos como agentes codificadores y usuarios de la información. La formulación de una teoría de los fenotipos choca con las dificultades que impone el incluir al observador en la descripción.

El desarrollo de esta teoría implica una integración de lo catalítico en lo molecular, lo ontogenético a nivel orgánico y lo ecológico a nivel de poblaciones, dentro de una visión dinámica en la cual el sistema observador natural (el fenotipo) participa en la generación de los registros que especifican la ontogenia de su descendencia futura ⁴. Igualmente, a medida que transcurre el proceso de desarrollo, el fenotipo en consulta permanentemente con el entorno participa modulando y coordinando la expresión génica a lo largo de su propia trayectoria ontogenética.

LA TEORÍA DE LOS FENOTIPOS Y SU EXTRAPOLACIÓN AL ESTUDIO DE LA CULTURA Y SOCIEDAD HUMANAS

Dadas las insuficiencias de una teoría de fenotipos, su extrapolación al campo de la cultura humana debe hacerse con cautela a fin de justificar las analogías que quieran establecerse. Si se considera apropiado extender las analogías derivadas de los procesos de codificación biológicas a la cultura, debería entonces con igual propiedad mostrarse la correspondiente a la instancia de codificación digital o genotípica, y no reducirse a las instancias de codificación analógica o fenotípica. Sería inconveniente centrarse exclusivamente en una de estas dos.

Además, considero que en la evolución de la cultura humana entran en juego elementos que difícilmente se pueden reducir a una teoría biológica, sea ésta darwinista, o por el contrario fenogenetista. Guillermo Foladori, queriendo criticar el reduccionismo darwiniano y filogenetista para explicar el comportamiento humano, parece caer en un error similar al aceptar la reducción del comportamiento humano a una teoría fenogenetista de la evolución.

Como se desprende de mi presentación anterior, para la explicación de los niveles de organización molecular y orgánico simpatizo con la necesidad de desarrollar la visión fenogenetista y ecológica. Sin embargo, esta aproximación no debe conducir al olvido de la visión genética, sino al contrario, debe tenerla en cuenta, sin por ello caer obligadamente en el determinismo genético. Del mismo modo diría que no estoy convencido que la visión fenogenetista tenga una aplicabilidad exclusiva al problema del comportamiento humano y la evolución sociocultural. Como señala Foladori, creo que la cultura tiene una base biológica dada por la existencia de fenotipos o sujetos individuales, pero sostengo que la cultura posee una dinámica propia irreducible a una teoría de los fenotipos.

El problema del origen de la cultura tiene que ver con la aparición de un sujeto social y colectivo que se manifiesta de diversas maneras. Si

queremos penetrar en la analogía biológica tendríamos que comenzar por entender cómo en los grupos humanos primitivos se dieron las condiciones para la generación de códigos gestuales compartidos y la emisión de sonidos que se convirtieron en el precursor de un lenguaje analógico onomatopéyico. Este lenguaje analógico sería la base para la generación de códigos con significación convencional, cuya eficacia estaría garantizada en la medida en que su interpretación fuera compartida por el grupo. De este modo, la codificación digitalizada propia del lenguaje articulado pudo abrirse paso. De acuerdo con Darwin, la instancia de codificación digital (lenguaje articulado) es la que distingue al hombre del animal. "El uso habitual del lenguaje articulado es, sin embargo, característico del hombre; pero él utiliza en común con los animales inferiores gritos inarticulados para expresar significados, ayudado por gestos y movimientos de los músculos de la cara... Los animales inferiores difieren del hombre únicamente en que éste posee un poder casi infinitamente más grande de asociar los sonidos más diversos con ideas; y esto depende obviamente del alto desarrollo de sus poderes mentales" (Darwin, 1874). Posteriormente, con la emergencia de la escritura, la cultura humana recibió un impulso enorme al poder generar registros de su historia y experiencia pasada, para que eventualmente fueran compartidos por otros sujetos distantes en el espacio y en el tiempo.

La idea según la cual los utensilios pueden considerarse como una extensión extracorporal del fenotipo, supone una redefinición del fenotipo que va más allá del resultado del proceso ontogenético como tal. Las relaciones organismo-entorno nos muestran que los organismos moldean o transforman el entorno alterando de esa manera sus propias condiciones de selección. Igualmente, los organismos a lo largo de su evolución han interiorizado, en el sentido de Goodwin, elementos del entorno. Por tanto, pareciera cobrar sentido la pregunta sobre los límites del organismo que irían más allá de su propia piel, es decir, que en la propia estructura biológica se hubieran incorporado características funcionales y adaptadas a circunstancias del entorno generadas por su mismo actuar y comportamiento. Este es justamente el sentido del concepto del uso y desuso como factor de modificación reconocido incluso por Darwin.

Más aún, el uso mediado por instrumentos corporales ejerce un papel en la variación y por lo tanto en la definición de rasgos fenotípicos. ¿Qué importaría entonces que el instrumento no fuera un órgano anatómico sino una extensión (cultural) del mismo? Igualmente estaría contribuyendo a la modificación de ciertos rasgos fenotípicos, lo cual no quiere decir que la elaboración de estos instrumentos esté codificada genotípicamente como sí lo están los distintos órganos corporales. La fabricación de los utensilios forma parte del saber de la cultura y se encuentra codificada en las diversas maneras que se utilizan para facilitar

la transmisión de estas experiencias entre individuos a lo largo de las generaciones (gestos, grabados, ritos, imitación, comportamientos, mitos, lenguaje, escritura etcétera). Por esta razón, no creo que los instrumentos hagan parte del fenotipo biológico, ni siquiera en el caso de los "ciberorgs".

En este punto estoy de acuerdo con A. R. Wallace cuando afirmó que el hombre, después de haber adquirido las facultades intelectuales y morales que lo distinguen de los animales inferiores, perdió la susceptibilidad a las modificaciones corporales por medio de la selección natural o por cualquier otro medio. Esto se explica por el hecho de estar en posesión de un gran poder de adaptación a las nuevas condiciones de vida, por medio de la invención de armas, utensilios, herramientas y de variadas estratagemas para conseguir el alimento y defenderse (Wallace, 1864)⁵. Es justamente esta independencia con respecto a la necesidad de responder con variaciones corporales a las exigencias del entorno lo que constituye a mi modo de ver la diferencia entre la evolución sociocultural y la biológica. Es el punto donde los fenotipos biológicos en su interacción dan emergencia a un nuevo nivel de organización con características no reductibles a lo biológico, así sea dentro de la perspectiva fenogenética. Por una vía antagónica a la de Foladori, Richard Dawkins llega a la conclusión de que la represa que los castores construyen se convierte en parte de su fenotipo, demostrando de esta manera que el lago está determinado por los genes del castor (Dawkins, 1984). Este es el peligro de las visiones unilaterales donde los extremos se encuentran.

Por otro lado, la elaboración de instrumentos extracorporales sí podría considerarse como un aspecto que contribuye a la organización fenotípica de la cultura, aunque no constituiría el elemento primordial ni exclusivo de la misma. El elemento fundamental de la aparición de la cultura está representado por la construcción de un esquema mental compartido, tal como analizaré a continuación.

De acuerdo a Hoffmeyer y Emmeche (1991), existe un paralelismo entre el origen de la humanidad y el origen de la vida, puesto que en ambos se dio la formación de una dualidad de códigos por medio de la invención de una redescrición en forma digital que permite conservar la identidad por medio de la producción de una memoria.

Para que la digitalización fuera funcional en la comunicación de una población de homínidos, éstos debieron construir un tipo de esquema o imagen mental del entorno compartido por el grupo. En otras palabras, fue necesario que la sociedad organizada favoreciera el establecimiento de un marco de referencia capaz de darle fundamento a un mundo mental y cultural compartido por todos los miembros del grupo. La organización económica se convirtió en la condición necesaria para la creación de un universo mental compartido, y éste a su vez se convirtió en el prerrequi-

sito para la evolución del lenguaje. De acuerdo a la hipótesis expuesta por Richard Leakey y Roger Lewin (1978), la creación de una economía alimenticia compartida por ambos sexos marcó la diferencia entre los simios y los primeros homínidos. La participación de ambos sexos en los modos de procurarse el alimento, donde cada uno contribuía con un componente diferente de la alimentación (carne y vegetales), se constituyó en la característica más relevante de esta economía. De acuerdo con Leakey y Lewin, los requisitos mentales para el cumplimiento exitoso de este pacto constituyó un reto mayor que el que representó la construcción de herramientas de piedra.

En las culturas cazadoras y recolectoras, el nivel intelectual alcanzado no corresponde con el desarrollo de la técnica. El desafío más importante consistía en la elaboración de un mapa mental del entorno que pudiera ser recordado a lo largo del tiempo, puesto que los cazadores y recolectores debían saber dónde y cuándo buscar los diferentes tipos de alimentos. Desde el momento en que los homínidos empezaron a compartir sus alimentos, debió haber un incremento en el coeficiente de adecuación y en la tasa de supervivencia de aquellos que poseían la capacidad de comunicar ese mapa mental, y esta selección favoreció la generación de esquemas mentales socialmente compartidos. Durante varios millones de años, nuestros ancestros fabricaron herramientas muy simples de piedra. Un refinamiento gradual de las mismas tuvo lugar hace 500 000 años, época en que una nueva dimensión tecnológica apareció, por ejemplo, las bellas hachas de mano en forma de "gotas de lágrima" propias de la cultura Acheulian. La conceptualización que supone la elaboración de estos objetos simétricos es de un orden diferente al involucrado en la fabricación de las hachas afiladas de uso corriente (Leakey and Lewin, 1979). Sin embargo, las tareas que se ejecutan con estas herramientas de alto valor estético podían también ejecutarse con eficacia empleando piedras tomadas al azar y/o trabajadas de una forma muy rudimentaria (Hoffmeyer *et al.*, 1991).

No obstante, persiste la pregunta sobre cómo emergió una tecnología más sofisticada y ordenada. La respuesta de Leakey y Lewin cuestiona nuestra visión tradicional sobre la relación entre desarrollo tecnológico e inteligencia. Según ellos, la tecnología refleja una estructura social altamente ordenada y formalizada que pedía a gritos la emergencia de un lenguaje sofisticado. A medida que las normas de regulación y control social se desarrollaron con el fin de garantizar la organización operativa de una economía de recolección y caza, éstas ejercieron un impacto sobre la tecnología. Es decir, la manufactura de la piedra se volvió más formal y sofisticada, no por una exigencia económica, sino porque corresponde a un reflejo del modo como funcionaba la mente de nuestros ancestros.

Esta estructura mental quedó registrada en la dinámica social y en la tecnología material (Hoffmeyer *et al.*, 1991).

Es razonable, por tanto, proponer que la producción de utensilios con un valor estético apareció cuando el patrón mental formalizado se había constituido en un recurso autónomo compartido por la población. En ese momento se dieron todas las condiciones para la aparición de la comunicación digital, es decir, cuando algunos signos analógicos, por ejemplo gestos, se comienzan a usar independientemente de su connotación original y se asocian y permutan para transmitir significados distintos a los codificados anteriormente. Según Leakey y Lewin (1979), el periodo Acheulian señala la emergencia de la doble codificación en la prehistoria humana, manifiesta en la dualidad constituida por la comunicación digital y el campo de interacciones intersubjetivas que definen una realidad natural y social. Esta dualidad fue necesaria para la evolución cultural y biológica. Una vez establecida esta dualidad, la aparición del lenguaje articulado, aquél que posibilita asignar significaciones imprevistas, aparece como un paso inevitable (Hoffmeyer *et al.*, 1991).

La ventaja de los códigos digitales, en este caso el lenguaje articulado, radica en el hecho de que operan como una traducción de la realidad a una forma en que su contenido puede manipularse libremente para así poner a prueba un universo de posibilidades. Por ejemplo, la digitalización de la experiencia humana en la forma de textos escritos hace que la selección de esta experiencia sea accesible a todos los miembros de la cultura, aunque necesariamente algo se pierda con la digitalización. Por ejemplo, los textos escritos, como los libros no mueren, ya que se convierten en uno de los factores cohesivos de la cultura en el espacio-tiempo.

Por consiguiente, la característica más importante de la cultura humana radica en el lenguaje, a partir del cual se hace posible la acumulación de información extragenética, y se hace posible la acumulación de información extracorporal en forma de objetos materiales. Pero la acumulación de información extracorporal en forma de objetos materiales no define por sí misma el origen de la cultura, como pretende Foladori, puesto que ésta hubiera sido imposible sin la existencia previa de un universo mental compartido. La información extracorporal en forma de objetos materiales es una expresión de una codificación analógica. Cuando los signos de ésta cambian de contexto y permutan en unidades que articuladas con otras unidades codifican significados más abstractos, ausentes en la representación original, estamos ante una forma de texto digitalizado, indispensable para el desarrollo del lenguaje propiamente dicho.

De esta manera, los objetos creados por el hombre, más que una extensión de sus propios órganos, se convierten en extensión de su mente. Es decir, al ser externos a su propio fenotipo biológico, forman parte de su realidad cultural y natural. Los objetos extracorporales no son únicamente ex-

presión fenotípica o analógica, sino que también son expresión de su capacidad de generar registros digitalizados. Un artefacto de valor estético y de uso, en sí mismo, tiene un significado ligado no sólo al tipo de utilización que se le puede dar, sino ligado a la emoción que produce, además, una serie de diferentes artefactos transmite otro tipo de significado derivado del orden en que se presentan.

La naturaleza dual de la codificación opera también a nivel de la cultura humana; su aspecto fenotípico, evidentemente, manifiesta la acción directa y transformadora del entorno de acuerdo con el interés del sujeto humano actuante. Pero su aspecto digitalizado o genotípico le confiere una dimensión histórica y la posibilidad de un cambio evolutivo, y si algo diferencia la cultura humana de la “cultura de los animales” es el contenido histórico de la primera, que ha hecho posible verdaderas revoluciones sociales y culturales de consecuencias impredecibles. Este aspecto histórico y evolutivo no aparece manifiesto cuando se utiliza exclusivamente una aproximación derivada de una teoría fenogenetista a la cultura humana, y es lo que Foladori parece haber olvidado.

La transmisión de la cultura no es genética, sino mediatizada por el lenguaje, el cual constituye el análogo de lo genético a este nivel. Los objetos producidos y acumulados extracorporalmente no son parte exclusiva de la herencia ecológica y, a medida que la cultura se ha ido sofisticando, su transmisión ha requerido de instancias codificadas digitalmente para poder ser compartidas en un ámbito cultural más allá del que pudo permitir su gestación.

En conclusión, la cultura humana es tanto fenotípica como genotípica; por tanto, la analogía biológica idónea para caracterizarla no es otra que la de la dualidad codal. Los objetos extracorporales que el hombre produce facilitan la interacción y transformación de su medio ambiente, hecho que incide en la manera como han evolucionado los sistemas de codificación cultural. De modo que la transmisión de los saberes, que permiten la producción de objetos, está codificada de diversas maneras, la más relevante es la forma digitalizada propia del lenguaje articulado hablado o escrito. Sin embargo, a diferencia de los organismos superiores donde hay una barrera entre genotipo y fenotipo, la cultura permite incorporar a su registro transmisible de generación en generación las innovaciones adquiridas tan rápido como se van produciendo. La evolución cultural es, por lo tanto, de tipo lamarckiano, puesto que no está protegida por la barrera de Weissman. De este modo, la sociedad humana se convierte en un sistema que posee un potencial de cambio evolutivo bastante acelerado e intenso que, al mismo tiempo, la coloca en una situación de riesgo altamente delicado. Los posibles efectos benéficos de las innovaciones se incorporan sin que haya mediado un verdadero *test* que decida sobre sus consecuencias a largo plazo. Así como pueden

eventualmente surgir soluciones impredecibles, nada impide pensar que la situación de riesgo puede alcanzar umbrales dramáticos que se atenuarían si las innovaciones adquiridas, en vez de heredarse, se sometieran a un escrutinio y control social que decida responsablemente sobre su implementación. Una suerte de instancia de control supraorganísmico que dé cabida a la expresión y satisfacción de los intereses de los distintos grupos humanos en conflicto y que, a partir del reconocimiento de su diversidad, no pierda de vista la viabilidad de la especie humana en el contexto planetario.

NOTAS

- 1 Esta última visión está ampliamente desarrollada por Dawkins en su libro *El fenotipo extendido*.
- 2 En *El azar y la necesidad*, Monod propone ver a las enzimas como demonios de Maxwell. La propuesta está todavía vigente y en espera para ser desarrollada (Andrade, 2000).
- 3 La "norma de reacción" de un genotipo es el conjunto de fenotipos que podrían manifestarse cuando el genotipo se desarrolla en medio ambientes alternativos.
- 4 Los genes se someten a prueba a nivel de la población y los individuos que portan los mejores al cruzarse los transmiten a su descendencia, a diferencia del Lamarckismo que veía esta optimización a nivel del organismo individual.
- 5 Por ejemplo, al migrar a lugares fríos se abriga y construye refugios; por medio del fuego pudo consumir alimentos hasta entonces indigeribles. Además de ayudarse en grupos practicaban la división del trabajo. Por el contrario, los animales debían responder a las condiciones cambiantes por medio de la modificación de su propia estructura corporal. Por ejemplo, hacerse más fuertes por medio de la adquisición de colmillos afilados, o disminuir el tamaño corporal para escapar al peligro. En caso de migrar a zonas frías se recubren con piel espesa, etc. (Wallace, 1864).

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, L.E. (1999). "Natural selection and Maxwell demons: a semiotic approach to evolutionary biology." *Semiotica. Biosemiotica Special Issue* 127 (1/4): 133-149.
- Andrade, L.E. (2000a). "From external to internal measurement: a form theory approach to evolution." *BioSystems* 57: 49-62.
- Andrade, L.E. (2000b). *Los demonios de Darwin: semiótica y codificación biológicas*. UNIBIBLOS. Bogotá, D.C., Colombia.
- Buss, L.W. (1987), *The Evolution of Individuality*. Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Darwin, Ch. (1962). *The Origin of Species by Means of Natural Selection or Preservation of Favored Races in the Struggle for Life* (1859). N. York: Collier Books.
- Darwin, Ch. R. (1874) *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. Revised Edition. Chicago and New York: Rand, McNally & Company, Publishers.
- Dawkins, R. (1990) *The Extended Phenotype. The Long Reach of the Gene*. Oxford, New York: Oxford University University Press.
- Eldredge, N. (1985). *Unfinished Synthesis. Biological Hierarchies and Modern Evolutionary Thought*. Oxford: Oxford University Press.
- Goodwin, Brian C. (1983). *History and Structure in Biology and the Organism*. Cahiers de la Fondation Archives Jean Piaget num.4: 275-319.
- Goodwin, Brian C. (1984). "Changing from an evolutionary to a generative paradigm in biology," in *Evolutionary Theory: Paths into the Future*. J. W. Pollard (ed.). New York: Wiley.
- Kauffman, S. (1993). *The Origins of Order, Self-organization and Selection in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Ho, M.W. and P.T.Saunders (1979). "Beyond Neo-Darwinism—an epigenetic approach to evolution." *J. Theor. Biol.* 78: 573-591.
- Hoffmeyer, J. & Emmeche, C. (1991) "Code-duality and the semiotics of nature," in Anderson, M. & Merrell, F. (eds.), *On Semiotic Modeling*. Berlin and New York: Mouton de Gruyter, pp: 117-166
- Leakey, R. & Lewin, R. (1978). *People of the Lake*. London: Collins.
- Leakey, R. & Lewin, R. (1979). "The origins of human language," *New Scientist*, 20,9,1979: 894-897.
- Lewontin, R., Rose, S. & Kamin, L.J. (1984), *Not in our Genes. Biology, Ideology, and Human Nature*. New York: Pantheon Books.
- Løvtrup, S. (1974). *Epigenetics*. London: Wiley.
- Løvtrup, S. (1987). *Darwinism—The Refutation of a Myth*. London: Croom Helm.
- Matsuno, K. (1995). "Competence of natural languages for describing the physical origin of life," International Seminar on Evolutionary Systems, Vienna, 8-12, March.
- Patte, H.H. (1993). "The limitations of formal models of measurement, control and cognition," *Appl. Math. Comput.* 5: 111-130.
- Wächterhäuser, G. (1990). "Evolution of the first metabolic cycles," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 87: 200-204.
- Waddington, C.H. (1976), "Las ideas básicas de la biología", en *Hacia una biología teórica*. Versión española de Mariano Franco Rivas. Madrid:Alianza.
- Wallace, A.R. (1864) *Anthropological Review*, May, p.civiii. Citado por Darwin, *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*.